



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 36 05 519.0-42  
②② Anmeldetag: 20. 2. 86  
②③ Offenlegungstag: 18. 9. 86  
②④ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 27. 6. 91

DE 36 05 519 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
21.02.85 JP P 60-31627

⑦③ Patentinhaber:  
Toyota Jidosha K.K., Toyota, Aichi, JP

⑦④ Vertreter:  
Tiedtke, H., Dipl.-Ing.; Bühling, G., Dipl.-Chem.;  
Kinne, R., Dipl.-Ing.; Grupe, P., Dipl.-Ing.; Pellmann,  
H., Dipl.-Ing.; Grams, K., Dipl.-Ing.; Strüf, B.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦⑦ Erfinder:  
Hayashi, Souichi, Nagoya, Aichi, JP; Miyake, Johji,  
Okazaki, Aichi, JP; Koyama, Motoisugu; Sakaguchi,  
Kanji, Toyota, Aichi, JP

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE 27 40 569 B2

⑤④ Verfahren zur Herstellung eines Zylinderkopfes aus einer Aluminiumgußlegierung für eine  
Brennkraftmaschine

DE 36 05 519 C 2

FIG. 1

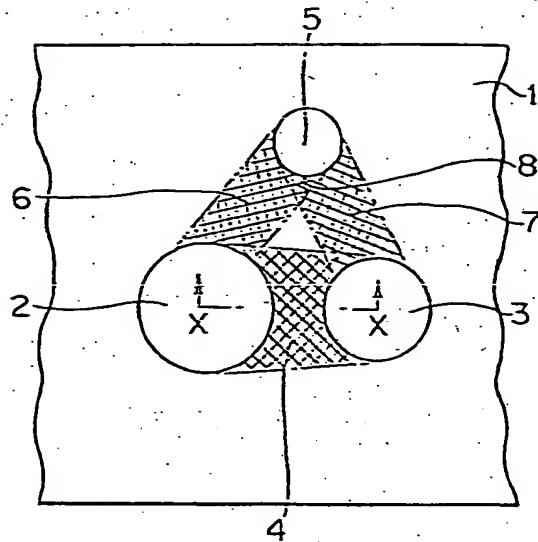


FIG. 3

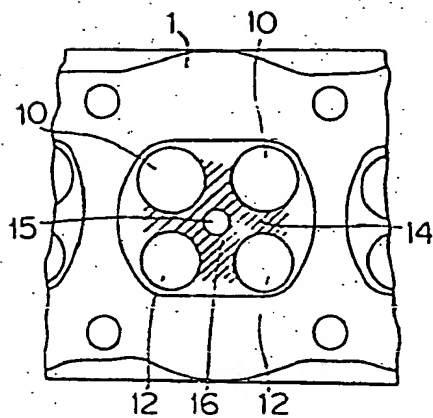
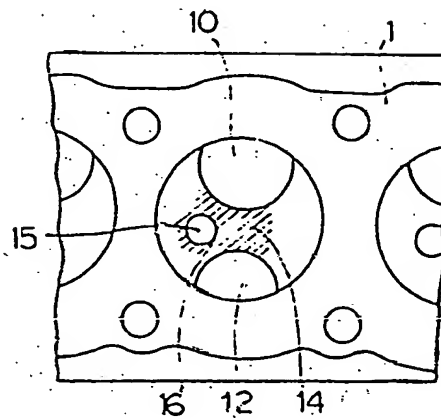


FIG. 2



## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Zylinderkopfes gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

In neuerer Zeit findet eine zunehmende Anzahl von aus Aluminiumgußlegierungen hergestellten Zylinderköpfen bei Brennkraftmaschinen Verwendung. Aluminiumlegierungen haben im Vergleich zu anderen Leichtmetalllegierungen ausgezeichnete Eigenschaften, und zwar ein geringes spezifisches Gewicht, eine hohe thermische Leitfähigkeit und eine hohe Wärmebeständigkeit. Sie neigen jedoch dazu, im geschmolzenen Zustand Wasserstoff zu absorbieren und bei der Verfestigung beträchtlich zu schrumpfen. Somit besitzen die Gußteile oft Defekte, wie beispielsweise feine Löcher, Gasblasen und Schrumpfhohlräume. Es ist bekannt, daß bei einer langsameren Abkühlung der geschmolzenen Aluminiumlegierung mehr Defekte auftreten und die Struktur des verfestigten Materials gröber wird. Die mechanischen Eigenschaften von Aluminiumgußlegierungen hängen zum großen Teil von der Abkühlgeschwindigkeit während des Gießens ab und werden schlecht, wenn die Abkühlgeschwindigkeit verringert wird.

Zylinderköpfe für Brennkraftmaschinen besitzen jedoch eine so umfangreiche Größe und komplizierte Form, daß die Abkühlgeschwindigkeit beim Gießen gering ist. Somit weisen Zylinderköpfe von Brennkraftmaschinen, die aus Aluminiumgußlegierungen bestehen, mechanische Eigenschaften auf, die aus den vorstehend erwähnten Gründen unzureichend sind. Aufgrund der thermischen Spannungen während des Einsatzes der Zylinderköpfe ist die Wahrscheinlichkeit hoch, daß Risse in der die Verbrennungskammer begrenzenden Wand auftreten.

Diese thermischen Spannungen, die in den Zylinderköpfen während des Gebrauchs auftreten, sind über den gesamten Zylinderkopf nicht gleich. Diverse lokale Bereiche werden hoch beansprucht. Normalerweise schließen diese hochbeanspruchten Bereiche den Bereich ein, der zwischen den Ventilsitzen einer Auslaßöffnung und einer Einlaßöffnung, auch als Zwischenventilbereich bekannt, angeordnet ist, diejenigen Bereiche, die sich zwischen den Ventilsitzen und einer Verbindungsöffnung zu einer Hilfsbrennkammer befinden, den Bereich, der die Verbindungsöffnung zur Hilfsbrennkammer umgibt, und einen Bereich, der eine Öffnung zur Aufnahme einer Zündkerze umgibt. Infolge der thermischen Beanspruchungen während des Gebrauchs tritt in diesen Bereichen eine Vielzahl von Rissen auf. Um in diesen hochbeanspruchten Bereichen besonders gute mechanische Eigenschaften zu erzielen, wurden beim Stand der Technik die folgenden Versuche durchgeführt:

Es wurden bei den zum Gießen der Aluminiumlegierungen verwendeten Formen und Kernkörpern Modifikationen durchgeführt, um die mechanischen Eigenschaften eines vorgegebenen Abschnittes des resultierenden Aluminiumgußlegierungskörpers, der der hohen Beanspruchung ausgesetzt ist, zu verbessern. Ein Versuch bestand hierbei darin, die Wanddicke des vorgegebenen Abschnittes zusammen mit einer Änderung der Größe und Form zu erhöhen. Ein zweiter Versuch bestand in der Anordnung eines Kühlers. Hierbei wurde ein Sandkernkörper an einer Stelle, die dem vorgegebenen Abschnitt des resultierenden Gußteiles entsprach, mit einem Kühler versehen. Die Abkühlgeschwindigkeit des vorgegebenen Abschnittes, der mit dem Kühler in Kontakt stand, konnte dann örtlich erhöht werden. Ein drit-

ter Versuch bestand darin, ein Kühlwasserrohr in einer Form benachbart zu dem vorgegebenen Abschnitt des resultierenden Gußstückes vorzusehen, um dadurch diesen Abschnitt örtlich und zwangsweise zu kühlen.

Bei diesen Versuchen des Standes der Technik traten jedoch diverse Probleme auf. Der erste Versuch ist mit dem Verlust der Vorteile in bezug auf die Kompaktheit und das geringe Gewicht der Aluminiumlegierung verbunden, da eine Änderung der Konstruktion erforderlich ist, um die Wanddicke zu erhöhen.

Beim zweiten Versuch erhält der Sandkörper selbst eine sehr komplizierte Form und ist somit schwierig zu formen. Um die Zylinderköpfe der Brennkraftmaschinen, bei denen es sich um große Gußstücke handelt, mit der erforderlichen Geschwindigkeit abzukühlen, muß der Kühler eine beträchtliche thermische Leistungsfähigkeit besitzen. In der Praxis ist es jedoch schwierig, einen Kühler, der eine derart hohe thermische Leistungsfähigkeit besitzt, zu befestigen. Daher hat sich der zweite Versuch in bezug auf die Verbesserung der Qualität der Gußstücke als wenig zufriedenstellend erwiesen.

Der dritte Versuch, der auf einer Wasserkühlung basiert, ist in der Tat mit einer besseren Kühlleistung verbunden als der zweite Versuch. Trotzdem erhält die Form selbst einen sehr komplizierten Aufbau. Es ist äußerst schwierig, Wasser an den gewünschten Abschnitt heranzuführen. Der Versuch hat sich daher in bezug auf die Verbesserung der Qualität der Gußstücke um das erforderliche Ausmaß als nicht erfolgreich erwiesen. Darüber hinaus läßt sich dieser Versuch aus Sicherheitsgründen nur schwer bei handelsüblichen Formen durchführen, da Wasser in die Nähe der geschmolzenen Aluminiumlegierung geführt wird.

Als weiterer Stand der Technik ist die DE-AS 27 40 569 zu nennen. Die DE-AS 27 40 569 betrifft ein Verfahren zur Legierung von ausgewählten Teilbereichen der Oberflächen von beispielsweise aus Aluminium bestehenden Gegenständen. Im Rahmen der Würdigung des Standes der Technik ist in der DE-AS 27 40 569 ausgesagt (Spalte 2, unten bis Spalte 3, oben), daß als eine Behandlungstechnik eine Umwandlung der Verfestigungsphase der Oberflächenzone in eine härtere bekannt ist. Diese sogenannte Umwandlungshärtung sei recht erfolgreich bei Substraten auf Eisengrundlage, jedoch nicht bei Aluminium und vielen anderen nicht-alkotropen Materialien (Spalte 3, Zeilen 8 bis 12). Darüber hinaus ist ausgesagt (Spalte 3, Zeilen 30 ff.), daß ein Hochenergiestrahl zum Schmelzen eines oberflächlichen Bereiches eines Gegenstandes auf Eisengrundlage verwendet werden kann, daß aber die Technik der Anwendung eines Hochenergiestrahls für die Oberflächenhärtung von Material auf eisenhaltige Basis grundlegend verschieden von seiner Verwendung bei Anwendung auf nicht-eisenhaltige und insbesondere nicht-alkotrope Materialien, d. h. beispielsweise Aluminium, ist.

Darüber hinaus sind in der DE-AS 27 40 569 eine Vielzahl von Nachteilen aufgeführt, die bei der Anwendung einer Umwandlungshärtung für Bauteile aus Aluminium auftreten können.

Dem Anmeldungsgegenstand liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Zylinderkopfes aus einer Aluminiumlegierung zu schaffen, mit dem in einfacher Weise zumindest in Teilbereichen eine hohe Festigkeit erreicht werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 gelöst.

Durch das anmeldungsgemäße Verfahren wird der Umgebungsbereich um die Durchgangsöffnungen im Zylinderkopf an der Oberfläche mittels Energie hoher Dichte nochmals aufgeschmolzen. Da die darunterliegende Struktur nicht nochmals aufgeschmolzen wird sondern verfestigt bleibt, unterliegt die aufgeschmolzene Oberfläche nach dem Abschalten der Energie hoher Dichte einer sehr schnellen Abkühlung, wodurch ein Zylinderkopf mit bereichsweiser hoher Festigkeit erzielt wird, obwohl dieser aus einer Aluminiumlegierung besteht. Da die Bereiche in der Umgebung der Durchgangsöffnungen die bei weitem höchstbelasteten Bereiche eines Zylinderkopfes sind, reicht es aus, nur diese Bereiche mittels des anmeldungsgemäßen Verfahrens auszubilden. Auf diese Weise ist gleichzeitig vermieden, daß sich der Zylinderkopf infolge des Aufschmelzens verzieht, was bei einer großflächigen Aufschmelzung aufträte.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung im einzelnen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf den Zylinderkopf eines Dieselmotors, bei dem die vorliegende Erfindung Anwendung findet, wobei die die Verbrennungskammer begrenzende Fläche eines ausgewählten Abschnittes des Zylinderkopfes dargestellt ist;

Fig. 2 und 3 Draufsichten auf andere Zylinderköpfe für benzinbetriebene Motoren, bei denen die vorliegende Erfindung Anwendung findet, wobei die die Verbrennungskammer begrenzende Fläche eines ausgewählten Abschnittes der Zylinderköpfe dargestellt ist;

Fig. 4 in schematischer Weise den Wiederaufschmelz-Wiederverfestigungs-Vorgang, der beim vorliegenden Verfahren in der Oberflächenschicht auftritt;

Die Fig. 5 bis 9 Diagramme, die die Ergebnisse von Materialeigenschaftstests zeigen, welche an einem Zwischenventilbereich von Zylinderköpfen nach einem Beispiel 1 und Vergleichsbeispiel 1 und 2 durchgeführt wurden, wobei Fig. 5 die Porosität, Fig. 6 die Dichte, Fig. 7 die Zugfestigkeit, Fig. 8 die Dehnung und Fig. 9 den Kerbschlagzähigkeitswert nach Charpy zeigt; und

Fig. 10 ein Mikrobild ( $3\times$ ), das die Struktur eines Zwischenventilbereiches des nach Beispiel 1 hergestellten Zylinderkopfes im Schnitt zeigt.

Die Zylinderköpfe der vorliegenden Erfindung können aus irgendeiner Aluminiumgußlegierung, die traditionell beim Gießen von Zylinderköpfen für Brennkraftmaschinen verwendet wird, hergestellt werden. Nachfolgend werden hierzu einige Beispiele von geeigneten Aluminiumlegierungen aufgeführt, die jedoch keine Begrenzung darstellen:

#### Hypoeutektische Legierungen, wie beispielsweise

JIS-AC2B-Legierungen (Cu 2,0–4,0 Gew.-%, Si 5,0–7,0 Gew.-%, Mg <0,5 Gew.-%, Zn <1,0 Gew.-%, Fe <1,0 Gew.-%, Mn <0,5 Gew.-%, Ni <0,3 Gew.-%, Ti <0,2 Gew.-%, Rest Al).

JIS-AC4B-Legierungen (Cu 2,0–4,0 Gew.-%, Si 7,0–10,0 Gew.-%, Mg <0,5 Gew.-%, Zn <1,0 Gew.-%, Fe <1,0 Gew.-%, Mn <0,5 Gew.-%, Ni <0,3 Gew.-%, Ti <0,2 Gew.-%, Rest Al).

JIS-AC4C-Legierungen (Cu <0,2 Gew.-%, Si 6,5–7,5 Gew.-%, Mg 0,20–0,4 Gew.-%, Zn <0,3 Gew.-%, Fe <0,5 Gew.-%, Mn <0,3 Gew.-%, Ti <0,2 Gew.-%, Rest Al).

JIS-AC5A-Legierungen (Cu 3,5–4,5 Gew.-%, Si <0,6 Gew.-%, Mg 1,2–1,8 Gew.-%, Zn <0,1 Gew.-%, Fe

<0,8 Gew.-%, Mn <0,3 Gew.-%, Ni 1,7–2,3 Gew.-%, Ti <0,2 Gew.-%, Rest Al).

#### Eutektische Legierungen, wie beispielsweise

JIS-AC8A-Legierungen (Cu 0,8–1,3 Gew.-%, Si 11,0–13,0 Gew.-%, Mg 0,7–1,3 Gew.-%, Zn <0,1 Gew.-%, Fe <0,8 Gew.-%, Mn <0,1 Gew.-%, Ni 1,0–2,5 Gew.-%, Ti <0,2 Gew.-%, Rest Al).

#### Hyper-eutektische Legierungen, wie beispielsweise

AA-A390-Legierungen (Cu 4,0–5,0 Gew.-%, Si 16,0–18,0 Gew.-%, Mg 0,45–0,65 Gew.-%, Zn <0,01 Gew.-%, Fe <0,50 Gew.-%, Mn <0,10 Gew.-%, Ti <0,20 Gew.-%, Rest Al).

Bei JIS und AA handelt es sich um Abkürzungen der japanischen Industrienormen und der Normen der amerikanischen Aluminiumvereinigung.

Zuerst wird ein Zylinderkopfkörper aus einer dieser Aluminiumlegierungen gegossen. Bei dem entsprechenden Gießprozeß kann es sich um irgendeinen gewünschten oder bekannten Vorgang zum Gießen von Zylinderköpfen aus einer Aluminiumlegierung handeln, beispielsweise um Niederdruckformgieß- und Hochdruckformgießvorgänge.

Der gegossene Zylinderkopfkörper wird dann, nachdem er wahlweise bearbeitet worden ist, einer raschen Wiederaufschmelzbehandlung unterzogen, indem Energie hoher Dichte auf einen oder mehrere ausgewählte Bereiche, die eine hohe Festigkeit aufweisen müssen, d. h. hochbeanspruchte Bereiche, gerichtet wird.

Diese Bereiche werden in Verbindung mit den Figuren besonders beschrieben. Eine eine Verbrennungskammer begrenzende Fläche eines typischen Zylinderkopfes eines Dieselmotors ist in Fig. 1 dargestellt. Der gezeigte Zylinderkopf 1 ist mit einer Einlaßöffnung 2 und einer Auslaßöffnung 3 versehen, in denen Ventilsitze in üblicher Weise ausgebildet oder befestigt sind, sowie mit einer Öffnung 5, die mit einer wahlweise angeordneten Hilfsbrennkammer (nicht gezeigt) in Verbindung steht. Die ausgewählten Bereiche des Zylinderkopfkörpers umfassen einen Bereich 4, der sich zwischen der Einlaß- und Auslaßöffnung 2, 3 erstreckt, d. h. einen Zwischenventilbereich, Bereiche 6 und 7, die sich zwischen der Öffnung 5 und der Einlaß- und Auslaßöffnung 2, 3 erstrecken, und einen Bereich 8, der die Öffnung 5 umgibt.

Eine eine Verbrennungskammer begrenzende Fläche eines typischen Zylinderkopfes für einen Benzinmotor ist in den Fig. 2 und 3 gezeigt. Der dargestellte Zylinderkopf 1 ist mit einer Einlaß- und Auslaßöffnung 10, 12 versehen, in denen Ventilsitze in der üblichen Weise ausgebildet oder befestigt sind, sowie mit einer Öffnung 15, in der eine Zündkerze (nicht gezeigt) angeordnet ist. Die ausgewählten Bereiche des Zylinderkopfkörpers umfassen hierbei Bereiche 14, die sich zwischen der Einlaß- und Auslaßöffnung 10, 12 erstrecken, d. h. Zwischenventilbereiche, die sich zwischen der Öffnung für die Zündkerze und der Einlaß- und Auslaßöffnung erstrecken, und einen Bereich 16, der die Öffnung 15 für die Zündkerze umgibt.

Die erfindungsgemäß durchgeführte Wiederaufschmelzbehandlung kann an einem oder mehreren dieser ausgewählten Bereiche durchgeführt werden. Die hierbei eingesetzten Energiearten hoher Dichte umfassen WIG-Lichtbögen, Plasmalichtbögen, Laserenergie

und Elektronenstrahlen.

Wenn der ausgewählte Bereich des Zylinderkopfkörpers mit der hohen Energiedichte bestrahlt wird, wird die Energie auf einen Punkt des Bereiches gerichtet. Dieser Punkt der Strahlungsenergie wird relativ zur Zylinderkopffläche bewegt.

Diese Energiebestrahlung ist schematisch in Fig. 4 dargestellt. Hochdichte Energie 22 in der Form eines Wolfram-Inertgas-Lichtbogens oder Laserstrahles wird auf einen Punkt auf der Oberfläche eines ausgewählten Bereiches eines Gußkörpers 20 gerichtet. Dabei wird derjenige Abschnitt der Oberflächenschicht der Aluminiumlegierung, der innerhalb des Punktes liegt, schnell erhitzt und aufgeschmolzen, so daß ein Schmelzbad 23 der Aluminiumlegierung gebildet wird. Wenn der Punkt der Strahlungsenergie in Richtung des gezeigten Pfeiles bewegt wird, wird das Schmelzbad 23 in dieser Bewegungsrichtung ausgedehnt. Eine Bewegung des Punktes der Strahlungsenergie bedeutet, daß die Strahlungsenergie von dem ursprünglichen Punkt, an dem eine rasche Wärmeübertragung vom Schmelzbad 23 der Aluminiumlegierung zur darunter befindlichen Matrix 26 stattfand, entfernt bzw. weggeführt wird. Als Ergebnis dieser Wärmeübertragung sinkt die Temperatur des Schmelzbades 23 ab, und dieses verfestigt sich, so daß eine verfestigte Schicht 24 ausgebildet wird. Da die Masse des Schmelzbades 23 der Aluminiumlegierung, die durch Beaufschlagung mit der hohen Energiedichte geschmolzen ist, beträchtlich geringer ist als die Gesamtmasse des Zylinderkopfes, wirkt die Matrix 26, die nicht aufgeschmolzen wurde, als Kühler, so daß Wärmeenergie sehr rasch vom Schmelzbad 23 auf die Matrix 26 übertragen wird. Daher erstarrt die Aluminiumlegierung im Schmelzbad 23 sehr rasch in gerichteter Weise von der Seite der Matrix 26 aus zur Oberfläche hin, wie durch die Pfeile 25 angedeutet ist. Diese gerichtete Verfestigung von der Matrixseite zur Oberfläche dient dazu, feine Defekte, wie feine Löcher, Lunker und Gasblasen, die vor dem Wiederaufschmelzen im Gußkörper vorhanden sind, aus der Oberflächenschicht herauszutreiben. Größere Defekte, wie Schrumpfhohlräume, fallen während des Aufschmelzens zusammen, so daß die aus der Wiederverfestigung resultierende Schicht frei von solchen größeren Defekten ist. Zur gleichen Zeit wird durch die rasche Verfestigung eine feinere Struktur erreicht. Somit kann durch Durchführung der schnellen Wiederaufschmelz-Wiederverfestigungs-Behandlung durch Bestrahlung mit hoher Energiedichte eine verfestigte Schicht 24 in den ausgewählten Bereichen, wie beispielsweise dem Zwischenventilbereich, ausgebildet werden, die eine von Defekten freie Struktur und verbesserte mechanische Eigenschaften besitzt.

Die wiederaufgeschmolzene verfestigte Schicht 24 besitzt vorzugsweise eine Dicke oder Tiefe von mindestens 0,1 mm. Schichten einer Dicke von weniger als 0,1 mm sind zu dünn, um ausreichende Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften zu erzielen. Dicken von mindestens 0,2 mm werden mehr bevorzugt. Allgemein gesagt liegt die obere Grenze bei etwa 2 mm, da mit einer verfestigten Schicht, deren Dicke über etwa 2 mm hinausgeht, kein zusätzlicher Effekt erreicht werden kann.

Nachdem die Strahlungsenergie hoher Dichte, die die Aluminiumlegierungsoberflächenschicht aufgeschmolzen hat, entfernt worden ist, beträgt die Abkühlungsgeschwindigkeit bei dem Verfestigungsvorgang etwa 10 bis 100° K/sec, üblicherweise etwa 30 bis 50° K/sec. Diese Geschwindigkeit ist beträchtlich höher als die Ab-

kühlgeschwindigkeit von 0,1 bis 1° K/sec während eines üblichen Zylinderkopfgießvorganges.

Nachdem der Wiederaufschmelz-Wiederverfestigungsvorgang beendet worden ist, kann der entstandene oberflächenbehandelte Zylinderkopfkörper wahlweise einer Wärmebehandlung unterzogen werden, wie beispielsweise einer T6-Behandlung (Festlösungsbehandlung-Abschreckhärtung-künstliche Alterung), und danach einer Endbearbeitung zu der endgültigen Zylinderkopfform.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen sowie Vergleichsbeispielen beschrieben.

#### Beispiel 1

Es wurde ein Zylinderkopfkörper für einen Dieselmotor hergestellt, indem eine JIS AC2B-Legierung (Cu 2,7 Gew.%, Si 0,2 Gew.%, Mg 0,1 Gew.%, Zn 0,3 Gew.%, Fe 0,3 Gew.%, Mn 0,1 Gew.%, Rest Al) geschmolzen und die geschmolzene Legierung durch Niederdruckguß zu dem Zylinderkopfkörper vergossen wurde. Der Zwischenventilbereich 4 des gegossenen Zylinderkopfkörpers, der zwischen der Einlaß- und Auslaßöffnung 2, 3 angeordnet ist, wie in Fig. 1 gezeigt, wurde mit einem Wolfram-Inertgas-Lichtbogen abgetastet, um eine schnelle Wiederaufschmelzung und danach eine rasche Verfestigung zu erreichen. Dieser Lichtbogen wurde unter Verwendung eines Wolframelektrodenstabes mit einem Durchmesser von 3,2 mm und von Argon als Schutzgas, das mit einer Geschwindigkeit von 25 l/min strömte, hergestellt. Die Spitzenstromstärke betrug 310 A und die Basisstromstärke 180 A. Der Schweißbrenner wurde mit einer Geschwindigkeit von 0,75 mm/sec bewegt. Nach Entfernung des Lichtbogens betrug die Abkühlgeschwindigkeit 30 bis 50° K/sec.

Nachdem der Zwischenventilbereich 4 auf diese Weise wieder aufgeschmolzen und wieder verfestigt wurde, wurde der Zylinderkopfkörper wärmebehandelt. Bei dieser Wärmebehandlung handelte es sich um eine T6-Behandlung. Der Körper wurde daher 5 Stunden lang auf 500°C erhitzt, mit Wasser bei 70°C abgeschreckt und dann zum Altern 5 Stunden lang auf 180°C erhitzt.

#### Vergleichsbeispiel 1

Aus der gleichen JIS AC2B-Legierung wurde ein Zylinderkopfkörper für einen Dieselmotor mit der gleichen Niederdruckgußtechnik wie bei Beispiel 1 hergestellt. Der Körper wurde der gleichen Wärmebehandlung wie in Beispiel 1, jedoch ohne Wiederaufschmelzbehandlung, unterzogen.

#### Vergleichsbeispiel 2

Aus der gleichen JIS AC2B-Legierung wurde ein Zylinderkopfkörper für einen Dieselmotor mit Hilfe der gleichen Niederdruckgußtechnik wie in Beispiel 1 hergestellt. Ein Kühlwasserrohr wurde in die Form eingesetzt, um den Zwischenventilbereich des gegossenen Zylinderkopfkörpers rasch abzukühlen.

Die nach Beispiel 1 und Vergleichsbeispiel 1 gegossenen Zylinderköpfe wurden in üblicher Weise endbearbeitet, in Dieselmotoren eingebaut und einem Ausdauer-test unterzogen. Dieser Ausdauer-test wurde durchgeführt, indem man die Motoren mit 4700 UpM unter Vollast und mit 1000 UpM unter lastfreien Bedingungen

laufen ließ.

Bei den Ausdauer tests wurde festgestellt, daß sich im Zwischenventilbereich des Zylinderkopfes des Vergleichsbeispiels 1 nach 100 bis 280 h Mikrorisse bildeten, während im Zylinderkopf nach Beispiel 1 sogar nach 300 h von kontinuierlichem Betrieb keine Abnormitäten festgestellt werden konnten.

Aus dem Zwischenventilbereich der Zylinderköpfe des Beispiels 1 und der Vergleichsbeispiele 1 und 2 wurden Testproben herausgeschnitten. Bei diesen Proben wurden die Dichte, Porosität, Zugfestigkeit, Dehnung und der Kerbschlagzähigkeitswert nach Charpy gemessen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in den Fig. 5 bis 9 dargestellt. Wie man aus den Fig. 5 bis 9 entnehmen kann, besaß der mit Hilfe der Wasserkühlung gegossene Körper (Vergleichsbeispiel 2) eine merklich reduzierte Porosität und erhöhte Dichte im Vergleich zu dem üblichen Gußstück (Vergleichsbeispiel 1), was auf eine merkliche Reduzierung von Defekten hinwies. In ähnlicher Weise waren die Zugfestigkeit, die Dehnung und der Kerbschlagzähigkeitswert nach Charpy verbessert. Das wiederaufgeschmolzene, wiedererstarrte Gußstück der vorliegenden Erfindung (Beispiel 1) wies im Vergleich zu dem Gußstück des Vergleichsbeispiels 2 eine weiter erhöhte Dichte auf und besaß eine extrem niedrige Porosität. Dies zeigte an, daß der behandelte Bereich des Gußkörpers des Beispiels 1 im wesentlichen frei von Defekten war. In entsprechender Weise waren auch die mechanischen Eigenschaften, wie Zugfestigkeit, Dehnung und Kerbschlagzähigkeit nach Charpy, gegenüber dem Gußkörper des Vergleichsbeispiels 2 verbessert.

Der Zylinderkopf des Beispiels 1 wurde entlang der Linien X-X in Fig. 1 zerschnitten, um eine Schnittbeurteilung zu ermöglichen. Fig. 10 ist ein Foto des Schnittes in vergrößertem Maßstab. Es ist augenscheinlich, daß Mikroporen, die auf Gießdefekte hinweisen, zwar in der Matrix 26 vorhanden sind, daß jedoch die wiederaufgeschmolzene, wiedererstarrte Schicht 24 keine derartigen Poren besitzt und eine sehr feine Struktur aufweist.

#### Beispiel 2

Es wurde ein Zylinderkopfkörper für einen Benzinmotor der in Fig. 2 gezeigten Art aus der gleichen JIS AC2B-Legierung mit Hilfe der gleichen Niederdruckgießtechnik wie beim Beispiel 1 gegossen. Um die Laserabsorption zu erhöhen, wurde der Zwischenventilbereich 14 des Gußkörpers mit einem 1/1 Gemisch aus Ruß und Polyvinylalkohol beschichtet, wonach ein Trockenvorgang folgte.

Der Bereich wurde dann mit Hilfe einer CO<sub>2</sub>-Laser-Behandlungsmaschine, die mit einer Leistung von 4 kW arbeitete, einer Wiederaufschmelz-Wiedererstarrungs-Behandlung unterzogen. Der verwendete Laser besaß eine Leistungsdichte von 83 W/mm<sup>2</sup> und eine Energiedichte von 500 J/mm<sup>2</sup>. Die Strahlbewegungsgeschwindigkeit betrug 1 mm/sec, und Argon wurde als Hilfsgas mit einer Geschwindigkeit von 60 l/min zugeführt. Nach dem Wiederaufschmelzen betrug die Abkühlungsgeschwindigkeit 30 bis 50° K/sec.

Nach der Wiederaufschmelz-Wiedererstarrungs-Behandlung durch Laserenergie wurde der oberflächenbehandelte Körper über die gleichen Verfahren wie in Beispiel 1 beschrieben einer Wärmebehandlung und einer Endbearbeitung unterzogen.

Es wurde festgestellt, daß die wiederaufgeschmolze-

ne, erstarrte Schicht im Zwischenventilbereich des entstandenen Zylinderkopfes im wesentlichen frei von Gießdefekten war und eine feine Struktur wie beim Ausführungsbeispiel 1 besaß.

Bei dem vorliegenden Verfahren zum Herstellen eines Zylinderkopfes aus einer Aluminiumgußlegierung für eine Brennkraftmaschine wird somit Energie hoher Dichte auf einen ausgewählten Bereich eines Zylinderkopfkörpers gerichtet, der aus der Aluminiumlegierung gegossen wurde, um auf diese Weise diesen Bereich zu erhitzen und schnell wiederaufzuschmelzen. Die geschmolzene Masse wird dann zur Wiedererstarrung sehr rasch abgekühlt. Hierdurch werden die mechanischen Eigenschaften der hochbeanspruchten Bereiche des Zylinderkopfes, wie beispielsweise die Zwischenventilbereiche, stark verbessert, während die Vorteile aufrechterhalten werden, die für Aluminiumgußlegierungen charakteristisch sind, nämlich geringes Gewicht, Kühlung und Kompaktheit. Ferner kann eine Reihe von Gußkörpern in relativ einfacher Weise ohne mögliche Gefahren rasch und kontinuierlich behandelt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Zylinderkopfes einer Brennkraftmaschine, der mehrere Durchgangsöffnungen zur Aufnahme von Ventilen und einer Zündkerze und/oder zur Verbindung mit einer Hilfsbrennkammer aufweist, wobei der Zylinderkopf aus einer Aluminium-Legierung gegossen und anschließend einer Abkühlung unterworfen wird, dadurch gekennzeichnet, daß in der Umgebung der Durchgangsöffnungen (2, 3, 5; 10, 12, 15) liegende Oberflächenbereiche (4, 6, 7, 8; 14, 16) zur Bildung einer verfestigten Oberflächenschicht von 0,1 bis 2 mm Dicke mittels eines Strahls hoher Energiedichte wieder aufgeschmolzen und anschließend mittels Selbstkühlung mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von 10 bis 100 K/sec abgekühlt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aluminium-Legierung eine hypoeutektische Legierung folgender Zusammensetzung ist:

Cu 2,0—4,0 Gew.-%; Si 5,0—7,0 Gew.-%; Mg <0,5 Gew.-%; Zn <1,0 Gew.-%; Fe <1,0 Gew.-%; Mn <0,5 Gew.-%; Ni <0,3 Gew.-%; Ti <0,2 Gew.-%; Rest Al oder

Cu 2,0—4,0 Gew.-%; Si 7,0—10,0 Gew.-%; Mg <0,5 Gew.-%; Zn <1,0 Gew.-%; Fe <1,0 Gew.-%; Mn <0,5 Gew.-%; Ni <0,3 Gew.-%; Ti <0,2 Gew.-%; Rest Al oder

Cu <0,2 Gew.-%; Si 6,5—7,5 Gew.-%; Mg 0,2—0,4 Gew.-%; Zn <0,3 Gew.-%; Fe <0,5 Gew.-%; Mn <0,3 Gew.-%; Ti <0,2 Gew.-%; Rest Al oder

Cu 3,5—4,5 Gew.-%; Si <0,6 Gew.-%; Mg 1,2—1,8 Gew.-%; Zn <0,1 Gew.-%; Fe <0,8 Gew.-%; Mn <0,3 Gew.-%; Ni 1,7—2,3 Gew.-%; Ti <0,2 Gew.-%; Rest Al.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aluminium-Legierung eine eutektische Legierung folgender Zusammensetzung ist: Cu 0,8—1,3 Gew.-%; Si 11,0—13,0 Gew.-%; Mg 0,7—1,3 Gew.-%; Zn <0,1 Gew.-%; Fe <0,8 Gew.-%; Mn <0,1 Gew.-%; Ni 1,0—2,5 Gew.-%; Ti <0,2 Gew.-%; Rest Al.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aluminium-Legierung eine hypo-

reutektische Legierung folgender Zusammensetzung ist:

Cu 4,0—5,0 Gew.-%; Si 16,0—18,0 Gew.-%; Mg 0,45—0,65 Gew.-%; Zn <0,01 Gew.-%; Fe <0,5 Gew.-%; Mn <0,1 Gew.-%; Ti <0,2 Gew.-%; Rest Al.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl hoher Energiedichte mittels eines Wolfram-Inertgas-Lichtbogens, eines Laserstrahls, eines Plasmalichtbogens oder eines Elektronenstrahls aufgebracht wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abkühlgeschwindigkeit im Bereich zwischen 30 K/sec und 50 K/sec liegt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die verfestigte Oberflächenschicht mindestens 0,2 mm dick ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60



FIG. 4

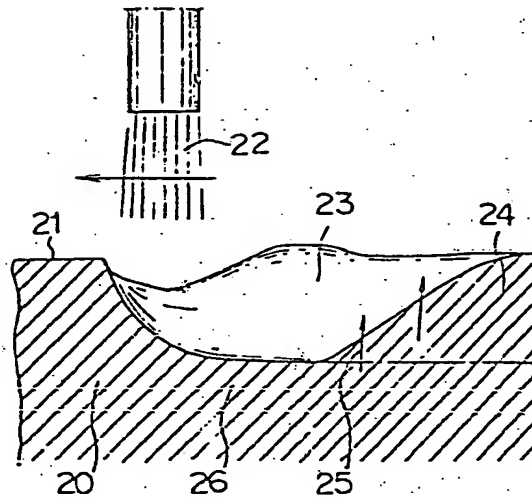


FIG. 5

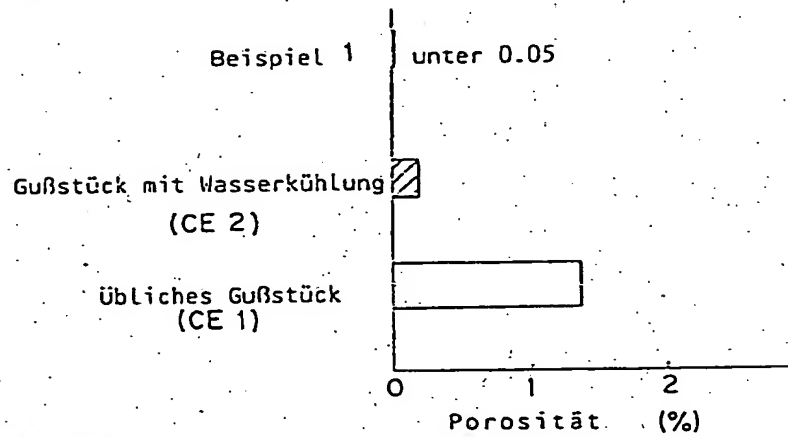


FIG. 6

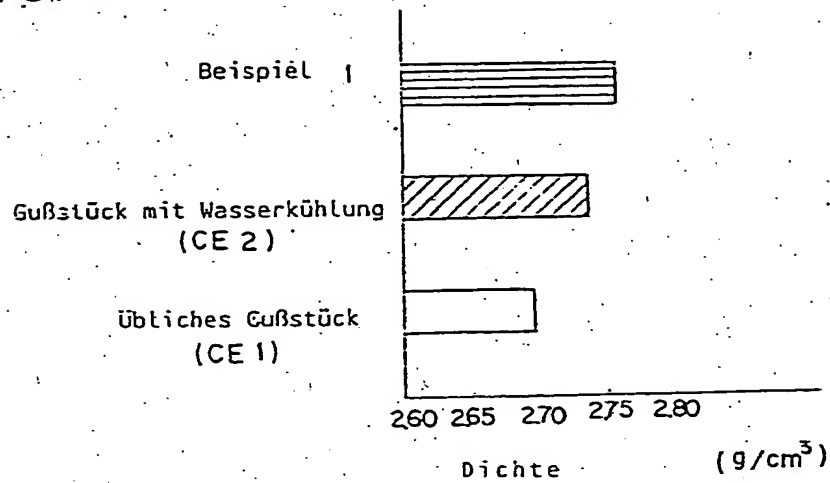




FIG. 7

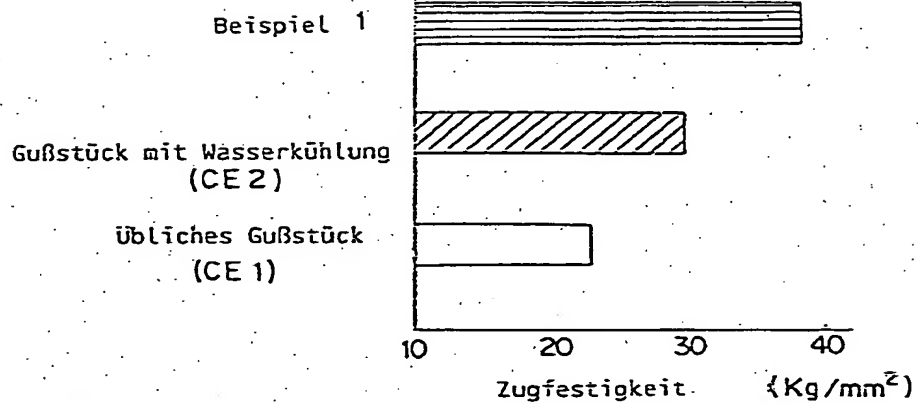


FIG. 8

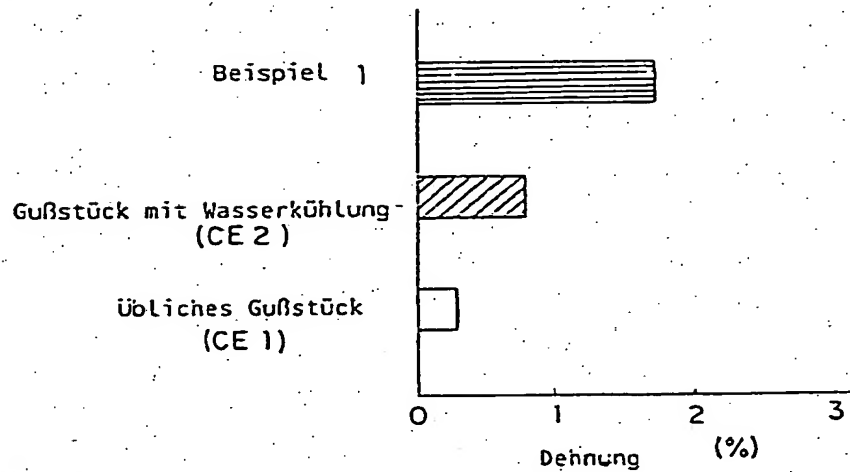


FIG. 9

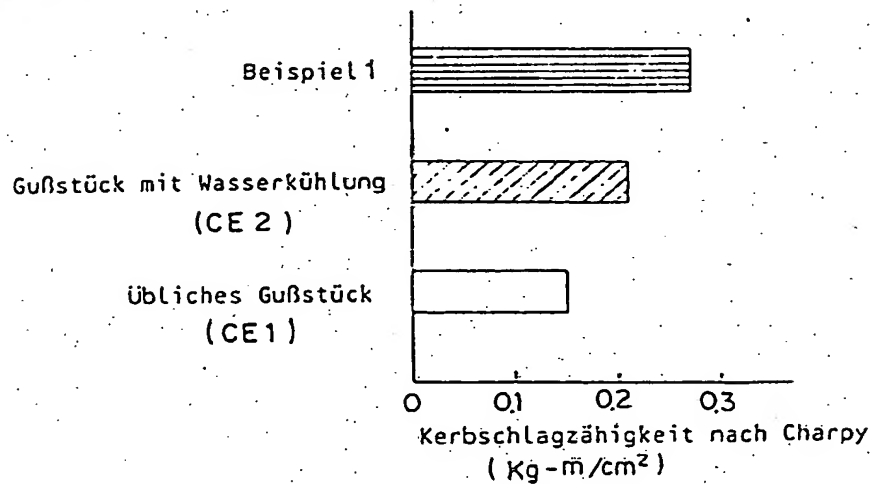


FIG. 10

